NOTICE

SUR LES

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DE

M. Charles JACOB

Professeur de Géologie a la Faculté des Sciences de Toulouse
Ancien Chef du Service géologique de l'Indochine



TOULOUSE
IMPRIMERIE J. BONNET
2, rue Romiguières, 2
—
1927

CURRICULUM VITÆ

Charles, François, Etienne **JACOB**, né à Annemasse (Haute-Savoie), le 19 février 1878.

TITRES UNIVERSITAIRES

Admis aux concours d'entrée de l'Ecole Normale Supérieure et de l'Ecole Polytechnique en 1898.
Reçu premier à l'Agrégation des Sciences naturelles en 1902.
Docteur ès Sciences naturelles avec la mention très bonorable, Paris le 13 juin 1907.

SERVICES MILITAIRES

Soldat au 30e R. I., de novembre 1898 à septembre 1899.
Mobilisé le 3 août 1914. Sergent, sous-lieutenant et lieutenant au 133e R. I. T., jusqu'au 28 juillet 1916. Affecté ensuite à des Etats-Majors de Brigades, puis de la 162e D. I. Mis à la disposition du Ministre des Colonies et embarqué pour l'Indochine le 14 novembre 1918. Démobilisé le 1er octobre 1919.
Trois citations à l'ordre : 217e Brigade (Alsace), le 24 juillet 1916; 1er C. A. (Bataille de l'Aisne), le 17 août 1918; Xe Armée (*Id.*), le 10 octobre 1918.

FONCTIONS UNIVERSITAIRES ET COLONIALES

Elève de l'Ecole Normale Supérieure du 1er novembre 1899 au 31 octobre 1902.

Préparateur de Géologie et de Minéralogie à la Faculté des Sciences de Grenoble, du 1er novembre 1902 au 30 novembre 1909.

Maître de Conférences de Minéralogie à la Faculté des Sciences de Bordeaux, du 1er décembre 1909 au 31 mars 1912.

Professeur adjoint, le 1er janvier 1912.

Professeur de Géologie à la Faculté des Sciences de Toulouse, le 1er avril 1912.

Membre du Jury d'Agrégation des Sciences naturelles, aux sessions de 1912 à 1914, sous la présidence d'A. Dastre, puis aux sessions de 1923 à 1926, sous la présidence de M. L. Mangin.

Chef du Service Géologique de l'Indochine, du 1er novembre 1918 au 31 octobre 1922.

Délégué du Gouvernement Général de l'Indochine au XIIIe Congrès Géologique International à Bruxelles, en août 1922. Vice-Président de ce Congrès.

Elu, pour la Géologie et la Minéralogie, membre de la Commission des Sciences au Comité Consultatif de l'Enseignement supérieur, le 19 décembre 1925, en remplacement de W. Kilian, décédé.

Délégué de M. le Ministre des Colonies et du Gouvernement Général de l'Indochine au XIVe Congrès Géologique International à Madrid, en juin 1926. Vice-Président de ce Congrès.

Directeur du Laboratoire de Géologie de la Faculté des Sciences de Toulouse, rattaché à l'Ecole pratique des Hautes-Etudes, le 30 juin 1927.

AUTRES FONCTIONS. DISTINCTIONS HONORIFIQUES

Collaborateur adjoint au Service de la Carte Géologique de France, le 28 mars 1903.

Elu membre correspondant de la Commission internationale des glaciers, mai 1905.

Lauréat du Prix Fontannes à la Société Géologique de France en 1909 (rapporteur : W. Kilian).

Chargé par le Ministère de l'Intérieur, de 1911 à 1914, de l'examen géologique des projets d'adduction d'eau dans les départements du Gard et de la Lozère, puis, à partir de 1923, par le Ministère de l'Hygiène des projets d'adduction d'eau et de cimetière dans les huit départements de l'Académie de Toulouse : Aveyron, Tarn, Lot, Tarn-et-Garonne, Haute-Garonne, Gers, Hautes-Pyrénées et Ariège.

Correspondant du Ministère de l'Instruction Publique, le 19 mai 1923.

Membre correspondant de la Société géologique de Belgique, le 15 juillet 1923.

Chevalier de la Légion d'honneur (promotion Pasteur), le 3 octobre 1923.

Lauréat de la médaille Juvénal-Dessaignes à la Société de Géographie en 1924 (rapporteur : M. A. Lacroix).

Président de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse en 1926 et 1927.

Conservateur des collections de Géologie, de Paléontologie et de Minéralogie du Musée de la Ville de Toulouse, à partir de 1926.

Membre du Comité de Géologie de l'Office National des Combustibles liquides, juin 1927.

LISTE DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

---

1. Sur un gisement cénomanien à faune du Maine dans les Basses-Alpes et sur sa signification.
   Travaux du Laboratoire de géologie de l'Université de Grenoble, t. VI, 2e fasc., 1902, pp. 287-296, 1 fig.

2. Sur la signification du gisement cénomanien de Saint-Laurent près Vachères (Basses-Alpes).
   Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 16 mars 1903.

3. Rapport préliminaire sur les observations relatives aux glaciers dauphinois exécutées pendant l'année 1903.
   La Géographie, t. VIII, 1903, pp. 317 et 318.

4. **Observations glaciaires dans le Massif du Pelvoux, recueillies en août 1903 par MM. Flusin, Jacob et Offner. Rapport adressé à la Commission française des Glaciers.**
   Annuaire de la Société des Touristes du Dauphiné, 1903, pp. 165-219, 3 pl. et 4 fig.

5. Note sur les terrains de transport des environs de Thonon-les-Bains (Haute-Savoie).
   Travaux du Laboratoire de géologie de l'Université de Grenoble, t. VII, 1er fasc., 1904, pp. 116-126, 2 pl.

6. Observations géologiques sur la feuille de Vizille.
   Bulletin des services de la Carte géologique de France, 1904, n° 98, pp. 113 et 114.

7. Aptien supérieur et Albien du Vercors.
   Bulletin de la Société géologique de France, 4e série, t. IV, 1904, p. 516.

8. Sur l'âge des couches à phosphates de Clansayes près Saint-Paul-Trois-Châteaux (Drôme).
   Ibidem, p. 517.

9. La crue glaciaire de la fin du XIX[e] siècle et ses anomalies dans le Massif du Pelvoux.
(En collaboration avec M. G. FLUSIN.) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*. 12 décembre 1904.

10. Rapport préliminaire à la Commission française des Glaciers sur les observations en Dauphiné de l'été 1904.
La Géographie, t. IX, 1905, pp. 441-444, 1 fig.

11. **Étude sur le Glacier Noir et le Glacier Blanc dans le Massif du Pelvoux.**
(En collaboration avec M. G. FLUSIN.) *Annuaire de la Société des Touristes du Dauphiné*, n° 31, 1904, pp. 137-194, 2 pl. et 2 cartes topographiques au 1/10.000[e].

12. Révision de la feuille de Vizille.
Bulletin des Services de la Carte géologique de la France, 1905, n° 105, pp. 117-119.

13. **Étude sur les Ammonites et sur l'horizon stratigraphique du gisement de Clansayes.**
Bulletin de la Société géologique de France, 4[e] série, t. V, 1905, pp. 399-432, 9 fig., 2 pl.

14. Sur les couches supérieures à Orbitolines des montagnes de Rencurel et du Vercors.
Ibidem, pp. 686-688.

15. Note sur la tectonique du Massif crétacé situé au Nord du Giffre.
Bulletin des Services de la Carte géologique de la France, 1905, n° 108, 1 fig., 2 pl.

16. Observations à une réponse de M. V. Paquier.
Bulletin de la Société géologique de France, 4[e] série, t. VI, 1906, p. 82.

17. Nouveau gisement albien découvert par M. A. Guébhard au Sud-Ouest de Gourdon (Alpes-Maritimes).
Ibidem, pp. 82 et 83.

18. Gault suisse et Gault français.
Eclogæ geologicæ Helvetiæ, vol. IX, 1906, pp. 50-54.

19. Observations sur les feuilles d'Annecy, de Grenoble et de Vizille.
Bulletin des Services de la Carte géologique de la France, 1906, n° 110, pp. 158-164.

20. Rapport préliminaire sur les travaux glaciaires en Dauphiné en 1905.
La Géographie, t. XIII, 1906, pp. 437-442.

21. **Étude stratigraphique et paléontologique du Gault de la vallée de la Engelberger Aa, Alpes Suisses aux environs du Lac des Quatre-Cantons.** (En collaboration avec M. A. Tobler.) *Mémoires de la Société Paléontologique Suisse*, vol. XXIII, 1906, 26 p. in-4°, 3 fig. et 2 pl.

22. Les variations et l'observation internationale des glaciers. *La Revue du Mois*, t. II, 1906, pp. 727 à 736.

23. Notes préliminaires sur la stratigraphie du Crétacé moyen. *Travaux du Laboratoire de géologie de l'Université de Grenoble*, t. VIII, 1907, 1er fasc., pp. 32-59.

24. Note sur deux gisements à Brachiopodes dans le Barrémien des Alpes-Maritimes. (En collaboration avec M. A. Guébhard.) *Ibidem*, pp. 60-81, 2 pl.

25. **Études paléontologiques et stratigraphiques sur la partie moyenne des terrains crétacés dans les Alpes Françaises et les régions voisines.** *Thèse de Doctorat*, Paris, 13 juin 1907, et *Travaux du Laboratoire de géologie de l'Université de Grenoble*, t. VIII, 2e fasc., 1908, pp. 280-590, 14 fig. et 6 pl.

26. **Étude sur quelques Ammonites du Crétacé moyen.** *Mémoires de la Société géologique de France, Paléontologie*, 1907, n° 38, 64 p. in-4°, 44 fig., 9 pl.

27. Projet de chemin de fer international à travers le Mont-Blanc. Rapports géologiques sur le Tunnel et les Rampes d'accès Nord et Sud. (En collaboration avec MM. S. Franchi et W. Kilian.) *Rapports autographiés avec coupes, profils isothermiques et trois cartes géologiques*, Paris, 1907.

28. Révision de la Feuille de Vizille. *Bulletin des Services de la Carte géologique de la France*, 1908, n° 119, pp. 141-147.

29. Etudes récentes sur les Glaciers du Dauphiné (1903 à 1907). *Comptes rendus du Neuvième Congrès International de Géographie*, Genève, 1908, t. II, pp. 289 à 296.

30. Feuille de Privas au 1/80.000e. (En collaboration avec MM. Boule, Haug, Kilian, Paquier, Depéret, Roman et Sayn.) *Carte géologique détaillée de la France*, Paris, 1908.

31. Feuille de Grenoble au 1/80.000e, 2e édition. (En collaboration avec MM. Hitzel, Kilian, Lory, Paquier, Termier et Reboul.) *Carte géologique détaillée de la France*, Paris, 1908.

32. Observations à propos d'une note de M. Arnold Heim sur le Crétacique moyen des Alpes Suisses.
Bulletin de la Société géologique de France, 4e série, t. IX, 1909, p. 128.

33. Sur le crochet et sur la place systématique de Terebratula multicarinata Lamarck 1819.
Ibidem, pp. 403-406, 1 fig.

34. **Études glaciaires, géographiques et botaniques dans le Massif des Grandes Rousses.**
(En collaboration avec MM. G. Flusin et J. Offner.) Ministère de l'Agriculture, Paris, 1909, 60 p., 3 fig., 11 pl. et une carte au 1/10.000e des Glaciers du Massif des Grandes Rousses.

35. Projet de chemin de fer à travers le Petit Saint-Bernard.
(En collaboration avec M. J. Révil.) Voir J. Révil, Une nouvelle percée des Alpes, *Revue Générale des Sciences*, 30 août 1910.

36. Traduction de trois chapitres de « La Face de la Terre » (Antlitz der Erde) d'Ed. Suess. — Les Alpes. I. Partie occidentale. — Les Alpes. II. Partie orientale. — Altaïdes posthumes. — T. III, 2e fasc., Armand Colin, 1911.

37. Analyses bibliographiques diverses de 1903 à 1911.
Pour la *Revue géologique (Geologisches Centralblatt)*, la *Revue du Mois*, la *Revue Critique des Livres nouveaux*, la *Revue générale des Sciences*, etc.

38. Sur la tectonique des montagnes situées entre le Mont-Blanc et le Petit Saint-Bernard.
(En collaboration avec M. W. Kilian.) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 25 mars 1912.

39. Sur le non-parallélisme des zones isopiques et des accidents tectoniques dans les Alpes franco-italiennes et le Valais.
(En collaboration avec M. W. Kilian.) *Ibidem*, 1er avril 1912.

40. Les Rhynchonelles portlandiennes, néocomiennes et mésocrétaciques du Sud-Est de la France.
(En collaboration avec M. P. Fallot.) *Ibidem*, 1er juillet 1912.

41. **Étude sur les Rhynchonelles portlandiennes, néocomiennes et mésocrétacées du Sud-Est de la France.**
(En collaboration avec M. P. Fallot.) *Mémoires de la Société Paléontologique Suisse*, vol. XXXIX, 1913, 82 p. in-4°, avec 11 pl.

42. Les dépôts glaciaires locaux du Vercors et des environs du Villard-de-Lans.
Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 2 décembre 1912.

43. L'Aptien supérieur des Alpes calcaires suisses.
Bulletin de la Société géologique de France, 4e série, t. XIII, 1913, pp. 117 à 123.

44. Feuille de Vizille au 1/80.000e, 2e édition.
(En collaboration avec MM. Termier, Kilian, P. Lory, Gignoux et Hitzel.) *Carte géologique détaillée de la France*, Paris, 1913.

45. La tectonique des Petites-Pyrénées.
Bulletin de la Société d'histoire naturelle de Toulouse, 7 janvier 1914, 2 p.

46. La nappe de charriage du Montsech en Catalogne.
(En collaboration avec M. P. Fallot.) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 27 avril 1914. — Voir aussi : Tectonique du versant Sud des Pyrénées, *Bulletin de la Société d'histoire naturelle de Toulouse*, 6 mai 1914, 2 pages et : A propos de la tectonique des Pyrénées catalanes, *Compte rendu sommaire des séances de la Société géologique de France*, 22 juin 1914.

47. Itinéraire géologique dans le Nord du Tonkin.
(En collaboration avec M. R. Bourret.) *Bulletin du Service géologique de l'Indochine*, vol. IX, fasc. I, 1920, 49 p., 8 fig.

48. Sur une chute de météorites en Cochinchine.
(En collaboration avec M. Rémoville.) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 19 décembre 1921.

49. La structure du Nord-Annam au Nord de Thanh Hoa.
Ibidem, 16 janvier 1922.

50. La structure du Nord-Annam au Sud de Thanh Hoa.
Ibidem, 30 janvier 1922.

51. La structure du Tonkin méridional.
Ibidem, 13 février 1922.

52. La structure du Nord-Annam et du Tonkin.
Ibidem, 27 février 1922.

53. Les roches éruptives de la série intermédiaire dans le Nord-Annam et le Tonkin.
Ibidem, 13 mars 1922.

54. **Études géologiques dans le Nord-Annam et le Tonkin.**
Bulletin du Service géologique de l'Indochine, vol. X, fasc. I, 1922, 204 p., in-8°, 3 pl. hors texte et 1 carte au 1/250.000e.

55. La géologie de l'Indochine.
Conférence faite à Hanoï, le 26 mai 1922. Deuxième cahier de la *Société de Géographie d'Hanoï*, 13 p. in-8°.

56. Sur les travaux du Service géologique de l'Indochine dans ces dernières années.
Compte rendu sommaire des séances de la Société géologique de France, 4ᵉ série, t. XXIII, 1923, pp. 37 à 39.

57. Rapport sur l'attribution du Prix Fontannes à M. P. Fallot.
Ibidem, pp. 100 à 102.

58. Montagnes et populations de l'Indochine du Nord.
La Géographie, t. XXIX, 1923, pp. 478 et 479.

59. Sur le rattachement des recouvrements tertiaires de la région d'Alais au Système pyrénéo-provençal.
Bulletin de la Société géologique de France, 4ᵉ série, t. XXIII, 1923, pp. 503 à 506.

60. A propos des brèches d'Aramon et de Barbentane.
Ibidem, pp. 513 et 514.

61. Sur la position tectonique et sur l'origine des lambeaux de la Formation de Suzette.
Ibidem, pp. 537 et 538.

62. La structure géologique de l'Indochine française.
Comptes rendus du XIIIᵉ Congrès géologique international à Bruxelles en 1922, 2ᵉ fasc., 1925, pp. 1123 à 1133.

63. Relations possibles en Indochine entre certaines venues éruptives et les charriages.
Ibidem, pp. 1135 à 1140.

64. **Exploration géologique dans le Haut-Laos**
(En collaboration avec M. le commandant L. Dussault.) *Bulletin du Service géologique de l'Indochine*, vol. XIII, fasc. IV, 1925, 128 p., in-8°, 15 pl. et 3 cartes hors texte.

65. A propos de la géologie du Sud des Pyrénées.
(Avec la collaboration de M. P. Fallot.) *Compte rendu sommaire des séances de la Société géologique de France*, 4ᵉ série, t. XXV, 1925, pp. 80 à 82.

66. Les théories tectoniques nouvelles. E. Argand, A. Wegener.
Annales de Géographie, t. XXXIV, 1925, pp. 97 à 112.

67. Traits généraux de l'Indochine française.
Gedenboek Verbeek. Geologisch-Mijnbouwkundig Genootschap voor Nederland en Koloniën. Geol. Serie, t. VIII, 'S-Gravenhage, 1925, pp. 263 à 278.

68. L'exploration de l'Indochine et son Service géologique.
L'Illustration financière et coloniale, numéro spécial consacré à l'Indochine, en 1925, pp. 7 et 8, avec deux reproductions photographiques.

69. Wilfrid Kilian 1862-1925. Notice nécrologique.
Bulletin de la Société géologique de France, 4e série, t. XXVI, 1926, pp. 163 à 184, avec un portrait.

70. Observations tectoniques sur le versant méridional des Pyrénées centrales et orientales.
(En collaboration avec MM. P. Fallot, G. Astre et R. Ciry.) Un mémoire avec 2 Cartes géologiques et 2 Planches de Coupes, déposé en novembre 1926 au Comité du XIVe Congrès géologique international de Madrid (à l'impression).

71. Le front du Massif de la Barousse à la traversée de la vallée de la Garonne.
(En collaboration avec M. G. Astre.) *Bulletin de la Société d'histoire naturelle de Toulouse*, t. LVI, 1927, pp. 281 à 288.

72. Considérations tectoniques sur les Pyrénées.
Ibidem, pp. 289 à 298. — Voir aussi : *Compte rendu sommaire de la Société géologique de France*, 1927, pp. 121 et suiv.

73. La structure du Mont-Perdu, du Sestrales et de la Tendeñera en Aragon.
(En collaboration avec M. L. Menoaud.) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 3 octobre 1927.

74. La structure du Turbon, du Cotiella et du Castillo Mayor en Haut-Aragon.
Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 17 octobre 1927.

INTRODUCTION

Plus peut-être que pour tout autre naturaliste, l'activité scientifique d'un géologue est déterminée par les pays successifs qu'il habite, par les voyages qu'il peut entreprendre, enfin par les collections dont il arrive à disposer. Jusqu'ici, malgré d'assez nombreux et lointains voyages, je n'ai véritablement connu que trois résidences, au moins d'une certaine durée : Grenoble, l'Indochine et Toulouse. On trouvera plus loin l'analyse de mes travaux dans cet ordre géographique, qui sera, en même temps, à peu près chronologique.

Je me suis occupé surtout de Géologie théorique, avec des recherches de Stratigraphie, de Paléontologie, de Tectonique et, en Indochine, une incursion dans le domaine de la Pétrographie. La Géologie appliquée n'a retenu que très accidentellement mes efforts.

Mon résumé sera réduit aux points essentiels, à ceux qui sont susceptibles d'aperçus généraux. L'énumération de mes publications n'aboutit point à un total élevé; elle aurait même pu être réduite, sans grand inconvénient, à une dizaine de mémoires principaux, dont les titres sont mis en évidence dans la liste chronologique des pages précédentes. Les numéros affectés aux publications leur serviront à l'occasion de référence.

C'est à Grenoble, dans le cadre des Alpes françaises et près de mon pays natal, la Savoie, qu'a débuté mon initiation à un métier que la nature nous oblige en réalité à apprendre toute notre vie. A ma sortie de l'Ecole Normale, M. F. Wallerant et aussi le regretté E. Haug ont eu l'heureuse pensée de me diriger chez W. Kilian. Je suis resté pendant sept années comme préparateur aux côtés d'un savant, dont la production a fait grand honneur à la géologie française, mais dont, hélas, la belle carrière s'est prématurément close [69]. Durant mon séjour à Grenoble, il n'est guère d'occupations géologiques auxquelles mon Maître n'ait tenu

à m'associer : levers de carte sur les Feuilles de Privas [30], de Grenoble [31], de Vizille [44] et d'Annecy, études tectoniques [38, 39], besognes techniques diverses, avec des expertises d'eau et l'étude d'un projet de tunnel sous le Mont-Blanc, etc.

Mais, assez vite, mon attention s'est particulièrement attachée aux terrains de la partie moyenne du Système crétacé et à leurs faunes, notamment à leur riche floraison d'Ammonites. Ce premier ensemble de travaux a fait l'objet de ma thèse et de différents mémoires complémentaires. Je puis bien dire, puisqu'ils l'ont dit eux-mêmes, que ma classification et mes considérations, tant stratigraphiques que paléontologiques, ont été largement utilisées par E. Haug dans son Traité de Géologie et par W. Kilian dans son ouvrage de l'encyclopédie de F. Frech, consacré au Crétacé Inférieur (Unterkreide, Palaeocretacicum). Quant aux Ammonites, on verra que j'ai écrit un chapitre important de leur histoire et noté bien des faits concernant leur évolution.

Accessoirement, j'avais commencé l'étude des Brachiopodes du Sud-Est de la France, pour lesquels les collections de Grenoble, en particulier la Collection Gevrey, fournissent un matériel d'une exceptionnelle richesse. Ce travail est resté inachevé. J'ai du moins terminé, en collaboration avec M. P. Fallot, un mémoire sur les Rhynchonelles du Portlandien, du Néocomien et de l'Albien. Ces jolis fossiles ont pu être traités, indépendamment des descriptions et des groupements systématiques, comme des « fossiles de faciès », c'est-à-dire comme les restes d'animaux, dont la répartition, sinon l'évolution, est commandée par le milieu : les groupes ont des représentants échelonnés à diverses hauteurs et présents à peu près chaque fois qu'intervient la récurrence des mêmes conditions sédimentaires.

Entre temps, aux vacances et chaque année de 1903 à 1911, avec MM. Flusin et J. Offner, j'ai assuré l'observation des glaciers actuels dans les Alpes dauphinoises. Là encore, à côté de la besogne, parfois fastidieuse mais nécessaire du repérage et des levers topographiques, il s'est dégagé quelques vues d'ensemble : la morphologie de ces glaciers permet d'expliquer les discordances constatées dans leurs variations.

Maître de conférences de Minéralogie à Bordeaux en 1909, Professeur de Géologie à Toulouse en 1912, je parvenais à peine à me libérer de la tâche assez lourde de mettre en route deux enseignements successifs et différents; je commençais à regarder du côté des Pyrénées, lorsqu'est survenue la guerre. Pour moi, comme

pour tant d'autres de ma génération, elle a interrompu tout labeur scientifique pendant quatre ans.

J'étais sur l'Aisne dans une Division de l'Armée Mangin et la victoire apparaissait à l'horizon, lorsque s'est précisée la proposition de partir en Extrême-Orient, que m'a faite M. P. Termier de la part du Gouvernement Général de l'Indochine. Le Service géologique le plus largement doté des colonies françaises subissait alors une crise qui compromettait ses destinées. Certes, il avait été produit là-bas de beaux travaux; mais certains paraissaient d'une sincérité douteuse. Il ne s'agissait point, au moins pour moi, d'intervenir dans une affaire délicate, portée à Paris devant un Conseil d'anciens Présidents de la Société géologique de France. On m'a demandé simplement d'aller travailler moi-même quelque temps à Hanoï et d'y réorganiser l'exploration géologique de la Colonie. Je dirai comment, avec des collaborateurs dont je ne vanterai jamais trop l'activité disciplinée, nous avons pu, en quatre ans, étendre progressivement notre regard sur toute l'Indochine du Nord, c'est-à-dire sur le Nord-Annam, le Tonkin et le Haut-Laos. J'indiquerai aussi, très brièvement, comment, sous la direction avisée de mes successeurs, le Commandant Dussault, puis M. Blondel, l'équipe que j'avais constituée naguère a complété, et par certains côtés modifié, d'une manière assez imprévue, nos conclusions.

Revenu à Toulouse en 1922, j'ai repris le vieux projet d'aller dans les Pyrénées. Me bornant à des études tectoniques en vue de démêler la structure d'une chaîne dont les terrains étaient suffisamment connus, je l'ai abordée par le Sud, à savoir par la Catalogne, pour venir ensuite en Aragon et aboutir jusqu'aux confins de la Navarre. Ces travaux m'occupaient encore sur le terrain en septembre dernier. J'ai eu la bonne fortune de pouvoir y associer des collègues et des élèves; sans leur concours je n'aurais pas abouti. On verra que le versant méridional des Pyrénées orientales et centrales s'interprète à l'aide d'un schéma simple et de proportions grandioses. Il apporte des exemples objectifs de ce que le puissant tectonicien de Neufchâtel, E. Argand, dont le nom m'est particulièrement agréable à citer, a conçu, d'une manière jusqu'ici théorique, sous le nom de plissements de couverture. Ayant compris, ou cru comprendre, la bordure catalane et aragonaise de la chaîne, j'étais naturellement amené à traverser la Zone axiale des Pyrénées et à rentrer en France. Et voici que j'en arrive à reprendre,

avec des conceptions en partie nouvelles, les montagnes de l'Ariège et de la Haute-Garonne.

Crétacé moyen des Alpes françaises, secondairement Etudes sur les Rhynchonelles et Etudes glaciologiques, Structure de l'Indochine française, enfin Etudes tectoniques dans les Pyrénées, tels sont ceux de mes travaux que je retiendrai.

Je ferai suivre mon résumé de quelques pages consacrées à la Géologie appliquée et aussi à mes tâches d'enseignement et d'organisation du travail scientifique.

Un géologue, au moins un géologue qui circule, un *field geologist* suivant le terme des Anglais, est fatalement appelé dans des consultations sur le sous-sol des régions où il se promène. La loi française l'a compris, puisqu'elle oblige les communes à faire visiter leurs projets d'adduction d'eau et d'installation de cimetière. Certaines industries et certains grands travaux requièrent aussi, de plus en plus, l'avis du géologue. Comme tout autre de mes collègues régionaux, mais en somme très accessoirement jusqu'ici, j'ai dû répondre à de telles demandes.

Quant à l'enseignement, il m'a fallu subvenir à des tâches bien diverses : enseignement de licence, enseignement d'agrégation, enseignement supérieur tout court, avec le souci de ne pas rester tout à fait étranger, au moins autant qu'on le peut avec des ressources bibliographiques limitées, aux grands courants qui traversent la géologie contemporaine. Et, puisque j'ai dirigé un service colonial, puisque j'ai la responsabilité d'un laboratoire à Toulouse, après avoir travaillé dans celui, si vivant, de W. Kilian à Grenoble, j'ai connu le souci des organisations matérielles. Certes, à ce sujet, on a parfaitement raison de souligner « la grande pitié » des laboratoires de France, encore qu'avec le produit des journées exceptionnelles comme la Journée Pasteur ou celui des fondations particulières comme la Fondation Loutreuil, avec les attributions plus régulières que permet très opportunément la taxe d'apprentissage, il soit pallié en partie à la pénurie de nos crédits. Mais, « un laboratoire, a dit E. Haug en parlant de celui d'Ed. Hébert, si c'est un local, si ce sont des collections, une bibliothèque, ce sont surtout... des travailleurs ». Je terminerai en précisant comment, voyant naître autour de moi de jeunes vocations, j'ai essayé de les orienter et surtout comment j'ai cherché à grouper et à faciliter les efforts des travailleurs, au cours d'une carrière déjà longue de géologue et de professeur.

ANALYSE SOMMAIRE DES TRAVAUX

I

Le Crétacé moyen des Alpes françaises et des régions voisines

Parmi les sujets de travail que W. Kilian, d'accord avec Munier-Chalmas et E. Haug, me conseilla d'aborder comme pouvant faire l'objet d'une thèse de doctorat, se trouvait l'étude approfondie, pour le Sud-Est de la France, de la partie moyenne des terrains crétacés. Si, en effet, la connaissance des étages inférieurs du Système avaient atteint dans le Bassin du Rhône un haut degré de précision et pouvait passer à bon droit pour un modèle stratigraphique, tout à fait comparable au tableau donné du Jurassique de l'Allemagne du Sud par les immortels travaux de Quenstedt et d'Oppel, il restait à établir une chronologie géologique détaillée, à revoir les faunes successives et à dresser des esquisses paléogéographiques exactes pour la série mésocrétacée, correspondant principalement à l'étage Albien et aux niveaux qui l'encadrent dans l'Aptien Supérieur et le Cénomanien. L'œuvre se présentait d'autant plus attrayante qu'elle n'avait été tentée jusque-là nulle part et pouvait ainsi combler une lacune importante dans la stratigraphie générale. Ce fut donc à cet objet que, presque dès l'abord, s'attachèrent mes travaux.

Une première série de gisements, ceux de Clansayes, près de Saint-Paul-Trois-Châteaux, dans la Drôme, ne devaient guère tarder à amorcer mes résultats. Il s'agit là de couches à phosphates, autrefois exploitées, dont on trouve des fossiles dans la plupart des

collections. Leur faune, avec des affinités indécises, était très diversement interprétée. Une critique attentive et des études stratigraphiques de détail me permirent d'établir qu'elle correspond sans conteste à une zone nouvelle, intermédiaire entre les étages Aptien et Albien, tels que les concevait alors l'opinion courante. Cette Zone de Clansayes a été retrouvée depuis en des lieux très divers, par M. Depéret dans le département des Pyrénées-Orientales, par L. Gentil au Maroc, par M. Sinzow dans le Caucase, etc..., toujours à la place stratigraphique indiquée [8, 13]. Tout récemment encore, en 1927, M. Roch vient de la signaler dans les Bouches-du-Rhône.

Mais, à lui seul, le niveau de Clansayes suffisait mal à raccorder l'Aptien supérieur classique et l'Albien. Dans la Drôme notamment, une épaisse série gréseuse, sans fossiles bien conservés, subsistait encore entre les horizons caractérisés. C'est dans les Alpes suisses, près du Lac des Quatre-Cantons, dans des dépôts improprement attribués à l'Albien, que j'eus l'occasion de reconnaître la faune intermédiaire cherchée [18, 21].

Relativement à l'Albien proprement dit, les trois zones établies pour le Bassin de Paris par M. Ch. Barrois trouvèrent, avec quelques modifications dans le choix des séries caractéristiques, leur application au Bassin du Rhône [23]. Ce sont aussi les trois zones classiques de la série de Sainte-Croix, dans le Jura vaudois, avec, comme zone terminale, le niveau à *Schlönbachia inflata*, le Vraconnien de Renevier. La considération de la faune classique du niveau à phosphates de la Perte du Rhône, près de Bellegarde dans l'Ain, faune un peu plus ancienne que celle du Vraconnien typique, m'a conduit enfin à subdiviser le niveau supérieur en deux sous-zones.

Ainsi s'est établie progressivement l'échelle chronologique du Mésocrétacé, d'une portée générale et encore en usage aujourd'hui.

Mais comment « couper » dans cet ensemble ? En d'autres termes, à quelles hauteurs faut-il placer les deux limites de l'étage Albien ? Après discussion, estimant devoir m'en tenir à un argument de priorité, j'ai essayé de préciser les conséquences des attributions de d'Orbigny, l'auteur de l'étage. Je place les limites de l'Albien en dessous de Clansayes et au-dessus de la Vraconne.

Entre temps, de nombreuses coupes entraient dans le cadre établi. Je mentionne simplement ici l'interprétation d'un gisement albien dans les Alpes-Maritimes [17], l'analyse détaillée d'un gisement cénomanien dans les Basses-Alpes [1, 2], diverses conclusions relatives aux dépôts du Vercors [7, 14, 16], etc...

Ainsi j'ai rédigé progressivement la partie stratigraphique de ma thèse. Son objet fut de rassembler, dans un résumé général et

à la lumière des résultats nouveaux, tous les faits épars dans une nombreuse bibliographie antérieure et relatifs à la fraction des Alpes qui s'étend de la Méditerranée au Rhin, en cherchant en outre des termes de comparaison sur la rive droite du Rhône, dans le Jura, dans le Bassin de Paris et jusque dans les Alpes orientales et sur la plate-forme russe [25]. Bref, j'ai visé à obtenir une reconstitution de l'histoire, principalement du Sud-Est de la France, pendant l'époque envisagée. A ce sujet j'ai fourni des esquisses paléogéographiques et des schémas de variation latérale de faciès (*Loc. cit.*, Pl. II, III et IV), qui ajoutent quelques feuillets de plus à l'analyse stratigraphique de l'Ecole de Grenoble, dont les travaux sont connus des spécialistes du monde entier.

De mon étude, je retiens aussi les quelques pages et le croquis consacrées aux Alpes suisses (*Loc. cit.*, Pl. I). La Stratigraphie fait ici une incursion dans le domaine de la Tectonique. Au moment où je travaillais à Grenoble, les beaux travaux de l'Ecole suisse, notamment ceux de M. Lugeon, arrivaient à montrer que cette partie des Alpes se découpe en nappes, dont la mise en place a produit des changements de position relative pour les divers compartiments constituants. J'ai essayé, l'un des premiers pour la Suisse, de vérifier stratigraphiquement cette hypothèse à l'aide des dépôts du Crétacé moyen. Le schéma que j'ai donné a été contesté depuis par M. Arnold Heim. Mais, quel que soit le grand mérite des études de mon savant confrère suisse, ses conclusions dans le Crétacé moyen, de même d'ailleurs que pour les terrains nummulitiques, ainsi que l'a montré J. Boussac, ne sauraient être adoptées [32]. Elles ne visaient à rien moins qu'à nier l'importance des fossiles dans la chronologie stratigraphique. Un peu plus tard, M. Ganz, élève ou collaborateur d'Arnold Heim, malgré d'intéressants détails, n'a rien apporté de bien nouveau sur ce sujet pour qui se place au point de vue de la stratigraphie générale [43]. Le cadre de mes horizons tient encore aujourd'hui.

De pair avec la Stratigraphie, marchaient, dans mon travail, des études paléontologiques.

J'ai donné des listes critiques pour les différents niveaux, à l'aide de gisements appropriés. Mais j'ai surtout attaché mon attention aux Ammonites. Là encore, si dans les riches faunes mésocrétacées beaucoup d'espèces isolées avaient été décrites, il restait à relier les faunes, à préciser les intermédiaires, à étudier non plus des types, mais des ensembles, où des variations puissent se discerner.

Ce fut l'objet de trois notes ou mémoires consacrés à la faune de Clansayes, à celles du Lüitere Zug et du Lochwald, et à divers genres d'Ammonites de l'Albien [13, 21, 26]. J'ai en outre rassemblé mes conclusions dans une partie spéciale de ma thèse [25, Chapitre II].

Pour ces intéressants bien que parfois décevants Céphalopodes, j'ai profité d'archives incomparables. La Collection Gevrey, avec les faunes de Clansayes et la faune albienne des Prés de Rencurel, dans l'Isère; la Collection V. Lambert pour celles de l'Aptien supérieur; le gisement albien de la Balme de Rencurel, où des fouilles dans une couche de phosphates formée de fossiles jointifs m'ont fourni des échantillons conservés parfois depuis les premières loges jusqu'à la dimension de 20 et 30 centimètres en diamètre; les riches collections de Genève et de Lausanne, qui m'ont été si libéralement ouvertes par les regrettés Bedot et Renevier et par M. Maurice Lugeon, la Collection de Grossouvre, etc..., tout cela, rassemblé momentanément au Laboratoire de Grenoble pour les types les plus intéressants, m'a fait vivre pendant des mois au milieu d'un véritable fourmillement d'Ammonites. J'en ai risqué des arbres généalogiques. Naturellement, pour quelques raccords, l'hypothèse joue son rôle; je ne l'ai pas dissimulé. Mais j'ai noté des épanouissements, des pulvérisations de rameaux, si je puis dire, ainsi que des mutations suivies dans le temps. Retenons-en ici quelques exemples pour amorcer le sens général de mes conclusions.

Dans les Ammonites lisses, le genre *Lytoceras*, si monotone dans son histoire antérieure, avec sa coquille lisse ou peu ornée, très évolute, à section circulaire, et avec sa cloison peu riche en éléments fondamentaux, fournit dans l'Aptien supérieur et dans l'Albien une éclosion de types bien divers. On y trouve des formes plus embrassantes, mais toujours arrondies (*Gaudryceras*), des formes à section rectangulaire (*Tetragonites*), des formes *coronati*, aplaties ventralement, allant jusqu'à comporter une carène latérale (*Jauberticeras*), enfin des formes ornées (*Kosmatella*).

Le genre *Desmoceras*, sectionné en plusieurs rameaux, montre dans l'un d'eux (*Uhligella*) une ornementation progressivement plus marquée, qui peut indiquer l'amorce de certains *Pachydiscus*.

Dans les *Hoplites*, ce grand genre de formes ornées, j'ai noté bien des transformations. Les plus curieuses correspondent à la succession dans le temps des mutations suivantes. Certaines formes *Parahoplites* de l'Aptien et de l'Albien prennent, en passant dans la Zone à *Hoplites dentatus*, le sillon ventral caractéristique des

formes *Hoplites* franches. Mais, dans la même zone, *Hoplites dentatus* se montre en pleine variation latérale, avec des formes plates, des formes épaisses, des formes finement ornées, d'autres plus frustes, des formes tuberculées, etc... Si l'on gagne l'échelon immédiatement supérieur, c'est-à-dire le Vraconnien, le sillon siphonal de tous ces types fait place à une bande lisse qui tend à se surélever. Plus haut encore, dans le Cénomanien franc, la bande lisse est devenue une carène : on obtient ainsi les formes du groupe de *Schlönbachia varians*.

Chez les *Douvilléiceras*, j'ai pu démonter des *D. mammillatum* de la Balme de Rencurel jusqu'au premières loges et retrouver, sur la même coquille, les quatre stades successifs *Royeri, Martini* var. *orientalis*, *clansayense* et *mammillatum*, que les adultes fournissent à quatre niveaux successifs de l'Aptien et de l'Albien. C'est là une vérification authentique, assez curieuse parce que rare, de la Loi de Fritz Müller, qui veut reconnaître un parallélisme entre l'ontogénie et la phylogénie.

La plupart des faits précédents et d'autres sont illustrés par les planches de mes divers mémoires.

De l'ensemble de mes constatations j'ai pu conclure que « l'exemple du Crétacé moyen vient s'ajouter à d'autres pour montrer que, périodiquement dans l'histoire des Ammonites, les mêmes caractères reparaissent dans des séries différentes. Après un plein épanouissement et une diversification très avancée, chacune d'entre elles fait place à une voisine qui, moins différenciée, peut prendre à son tour des caractères très accentués et qui est destinée à s'éteindre à son tour, pour faire place elle-même à d'autres séries. On assiste ainsi, à différentes époques, à des réapparitions des mêmes caractères extérieurs qui, joints aux modifications de la section, entraînent des variations conséquentes de la cloison ».

J'ajoutais : « Les faits nouveaux exposés dans mes travaux montrent, en tous cas, avec quelle circonspection doivent être acceptées les attributions génériques qui englobent des formes analogues de niveaux très divers, sans qu'elles soient reliées par des intermédiaires certains à la place stratigraphique voulue » [25, p. 118].

L'ensemble de mes travaux sur le Crétacé moyen m'a valu, en 1909, le Prix Fontannes à la Société géologique de France.

II

Études sur les Rhynchonelles

Le centre du géosynclinal dauphinois — la fosse vocontienne de V. Paquier — s'est trouvé, pendant le Portlandien, le Crétacé inférieur et le Crétacé moyen, entouré d'auréoles néritiques, dont Ch. Lory, puis W. Kilian et ses élèves ont déterminé les niveaux et délimité les extensions. Ce magnifique complexe stratigraphique du Sud-Est français et des pays voisins fournit un champ d'observations, non seulement pour la chronologie des terrains, mais aussi pour la répartition des fossiles, en relation avec les conditions sédimentaires. J'ai tenté avec les Rhynchonelles un chapitre de cette étude.

Il a fallu d'abord procéder à une exclusion. La coquille géante du Néocomien de Châtillon-en-Diois (Drôme), appelée *Rhynchonella peregrina* par d'Orbigny d'après L. de Buch, mais plus anciennement encore décrite sous le nom de *Terebratula multicarinata* par Lamarck, n'est pas une Rhynchonelle. Entre autres, un trés bel échantillon, « à fleur de coin », de la Collection Gevrey, m'a montré un crochet intact, tronqué à son extrémité par le foramen, avec un deltidium articulé d'un type curieux. La commissure des valves est plane dans l'ensemble; la petite valve est pourvue d'un septum. Il s'agit d'une Térébratule, d'une *Zeilleria*, ou mieux d'une *Eudesia* de grande taille, pour laquelle le sous-genre *Peregrinella* d'Œhlert est commode à conserver [33].

Dans les Rhynchonelles vraies, M. P. Fallot et moi, nous avons découpé des groupes, précisé des espèces, des variétés et des mutations, en appuyant notre texte par une iconographie de onze planches in-4°, libéralement consentie par la Société Paléontologique Suisse [41]. Une énumération d'une cinquantaine d'espèces ou de variétés serait ici déplacée. Retenons quelques cas de distribution et de variation. Le groupe de *Rh. decipiens*, avec des formes de crochet minuscule et ornées de fines stries radiales, se localise dans

les formations bathyales et dans leur bordure immédiate où l'on trouve des Spongiaires. De même, le groupe plus riche et beaucoup plus variable de *Rh. lacunosa*, qui peut aussi, mais exceptionnellement, arriver à gagner les formations coralligènes. Le type de *Rh. lacunosa*, avec un crochet de dimensions moyennes et sans area bien net, est largement costulé; mais, par tous les intermédiaires, on passe à des formes peu costulées, puis lisses, à peu près seules représentées dans les formations bathyales où le groupe est sporadique, tandis que le gros contingent, avec tous les types, costulés ou non, trouve son lieu d'élection dans les formations à Spongiaires. Autre fait intéressant : la possibilité de variation latérale du type apparaît comme de longue durée. Nous en connaissons des exemples dans l'Argovien, dans le Portlandien et dans l'Hauterivien, sans qu'on puisse mettre en série toutes les formes lisses d'une part, toutes les formes costulées de l'autre; la variation se reproduit à différents paliers. Les groupes de *Rh. trilobata* et de *Rh. corallina*, comportant des formes vigoureusement ornées et pourvues d'un crochet décidé avec deux carènes latérales tranchantes, se localisent dans les formations zoogènes. C'est une prolongation des types « coralliens » du Jurassique. Enfin, avec une origine incertaine, peut-être polyphylétique, nous avons le groupe de *Rh. sulcata*, au crochet moyen, aux côtes nettes mais arrondies, des formations gréseuses du Crétacé moyen.

« La distribution est ainsi commandée par les conditions de faciès, soit que celles-ci sélectionnent parmi les types possibles à une époque déterminée, pour n'admettre que des formes préalablement adaptées, soit qu'elles interviennent plus directement et tendent à donner aux représentants de rameaux initialement divers, des caractères convergents. »

On notera la prudence de ces quelques lignes de conclusion. Cependant, en faveur de l'action directe du milieu semble parler au moins un cas curieux de convergence, qui amène à une épaisseur très réduite, à une allure « papyracée », et, pour les deux cas dans des marnes, deux coquilles d'origines bien différentes : *Rh. contracta* d'Hombres-Firmas, des marnes valanginiennes de Berrias, et *Rh. multiformis*, var. *contractoides* Jacob et Fallot, des marnes hauteriviennes du Jura Neuchâtelois.

III

Études glaciologiques

Les glaciers du Dauphiné, c'est-à-dire ceux des Massifs du Pelvoux et des Grandes Rousses, n'ont fait qu'assez tardivement l'objet d'observations suivies. C'est le Prince Roland Bonaparte qui fut en France l'initiateur en cette matière par ses deux séries de repérages et de mesures, respectivement en 1890 et 1891; après quoi W. Kilian et M. G. Flusin, aidés de divers concours dauphinois, ont assuré les mêmes opérations jusqu'en 1901.

Avec MM. G. Flusin et J. Offner, nous avons conduit les observations glaciologiques de 1903 à 1911. Chaque année, sauf en 1910 en ce qui me concerne, nous y avons consacré une campagne d'environ trois semaines aux hautes altitudes. Les subsides matériels nous sont venus, progressivement plus importants, en particulier du Service de l'Hydraulique et des Améliorations agricoles, qui a fini par assurer la publication coûteuse de nos documents. Nous avons, dès 1903, résolument dépassé la pratique, seule employée jusque-là, des mesures et du repérage vers le front des glaciers, en étendant notre champ d'action jusqu'aux crêtes, pour procéder à des observations nivométriques, puis à de véritables levers de glaciers. Ainsi sont sorties, en 1904 avec le concours topographique de M. Lafay, au moins une ébauche au 1/10.000^e du Glacier Noir et du Glacier Blanc en Vallouise [11] et, en 1909 avec le même concours, une véritable carte au 1/10.000^e de tous les glaciers des Grandes Rousses [34], fruit des campagnes de 1905 et de 1906. Les années suivantes, la vaste calotte glacée du Mont de Lans et de la Girose a été levée avec le concours de M. Raffin; mais notre carte est jusqu'ici restée inédite. Un autre lever a été poursuivi sur le Glacier de la Selle; il est en voie de publication par M. Girgnoux, qui a collaboré aussi à son établissement.

Le souci topographique en matière de glaciers nous est venu de l'étranger. On n'étudie bien qu'un appareil connu par toute sa surface et même son épaisseur : à ce dernier point de vue, M. G. Flusin songeait à des sondages à grandes profondeurs tels que ceux

qu'ont menés à bien BLÜMCKE et HESS sur l'Hintereisferner; mais il n'a pas été donné suite, en Dauphiné, à la mise en route de sondes que MM. G. FLUSIN et BERNARD étaient allés voir fonctionner dans le Tirol. Nous avons été guidés aussi par le désir de l'Administration des Forces hydrauliques de connaître les réserves glacées de nos Alpes. Mais, dès l'abord, nous avions compris nous-mêmes l'intérêt de reconnaissances topographiques plus ou moins poussées, car, seules, elles étaient susceptibles de nous permettre de répondre à une question posée par les travaux de nos devanciers, à savoir l'explication des anomalies de la crue de la fin du dix-neuvième siècle. Pourquoi le front de certains glaciers a-t-il avancé vers 1890, alors que d'autres reculaient ?

A ce sujet, il faut classer les glaciers en types naturels et l'on obtient, dans le Massif du Pelvoux, les résultats suivants : 1° Les *glaciers-témoins* du Sud-Ouest du Massif, à peu près dépourvus de bassin d'alimentation, n'ont cessé de reculer; quelques-uns même ont entièrement disparu. 2° Les *glaciers de cirque,* réduits aux portions voisines de leur bassin d'alimentation, ont manifesté, vers 1890, une crue, bientôt suivie d'une décroissance surtout marquée pour les parties au soleil. 3° Les *glaciers de vallée,* avec un long cours horizontal situé au-dessus de 2.500 mètres, ont manifesté un gonflement dans leur région moyenne, tandis que leur front n'a cessé de reculer. 4° Le Glacier Blanc en Vallouise, *grand glacier de haute-région,* d'un type spécial, situé presque tout entier au-dessus de 3.000 mètres, avec rapide chute terminale en dessous de cette altitude, a manifesté de 1889 à 1890 la crue avec une particulière intensité. Dès lors, on peut conclure que, vers 1890 ou plutôt quelques années auparavant, une augmentation de l'alimentation des glaciers, c'est-à-dire de l'enneigement dans les hautes-régions, a dû affecter tout le Massif du Pelvoux, tandis que, à travers les trente années qui encadrent la crue, l'ablation n'aurait pas cessé d'exagérer ses effets [9]. La comparaison du Glacier Noir et du Glacier Blanc est particulièrement parlante à ce point de vue. Ces deux appareils, situés tous deux en Vallouise, se présentent dans des conditions topographiques toutes différentes pour l'un et pour l'autre. Le premier court très bas, de l'altitude 3.000 à celle de 2.100 mètres, dans un profond chenal en contre-bas du Pelvoux, de l'Ailefroide et de la Grande Sagne. Le second est un magnifique berceau glaciaire qui débute, entre 4.000 et 3.500 mètres, dans les célèbres pentes glacées de la région des Ecrins, qui se tient en majeure partie au-dessus de 3.000 mètres et se termine, comme nous l'avons dit, par une brusque chute de séracs. Ce dernier gla-

cier est une sorte de *nivomètre naturel* du Pelvoux, tandis que l'autre, le Glacier Noir, justifierait, s'il était permis d'employer le terme, celui de *fusiomètre* [11].

Le Massif des Grandes Rousses, où nous étions dépourvus d'archives, ne nous a pas permis d'obtenir les mêmes conclusions que pour le Pelvoux. J'ai du moins cherché à étendre l'observation à des périodes plus anciennes que l'actuelle. Le versant occidental présente trois paliers, en bordure desquels on trouve trois cordons de moraines, qui m'ont conduit à définir trois stades, dits successivement en s'éloignant dans le temps : Stade récent, Stade des Petites Rousses, Stade du Plateau de Brandes [34, Pl. II]. Les limites respectives des neiges qui correspondent à ces trois stades sont approximativement, calculées par la méthode de Brückner, de 2.850, de 2.800 et de 2.100 mètres. Ces études auraient demandé à être poursuivies, car elles sont suceptibles d'une portée géologique. Avec un massif isolé, condenseur simple des précipitations atmosphériques comme les Grandes Rousses. on tient un bon départ pour définir des stades et aborder ensuite les vallées des grandes masses montagneuses voisines. La reconnaissance complète pour une vallée n'a pas été faite en France, semble-t-il, des stades glaciaires récents compris entre les périodes classiques, y compris le néowürmien de W. Kilian, et les glaciers récents. Le temps m'a manqué à Grenoble pour la pousser comme je l'aurais désiré. Les Pyrénées, avec un travail qui m'a été demandé sur la protection des vallées luchonnaises contre des transports de matériaux analogues à ceux qui suivirent le cyclone de 1925, nous ramènent, mon collaborateur M. Casteras et moi, à des préoccupations de ce genre. Mais nos résultats, encore fragmentaires, ne sont pas publiés.

IV

La structure géologique de l'Indochine du Nord

J'ai gagné l'Indochine par un itinéraire assez détourné. La générosité du Gouvernement Général de la Colonie m'a offert en effet le voyage d'aller par les Etats-Unis, le Japon, Manille, Hong-Kong et Canton.

Arrivé à Hanoï le 1er février 1919, je n'ai trouvé là-bas, comme personnel scientifique installé, que M. Mansuy et Mlle Colani, qui s'occupaient au laboratoire des déterminations paléontologiques. M. Margheriti dirigeait le travail matériel, en surveillant notamment l'emploi des indigènes à la dactylographie, au dessin et à la confection des préparations micrographiques. A côté de ces concours précieux, il était indispensable de constituer une équipe de géologues pour l'exploration sur le terrain. C'est à quoi je suis arrivé progressivement. Un de mes élèves, fonctionnaire colonial, qui avait suivi mes cours à Toulouse et qui possédait sa licence, M. R. Bourret, rejoignit Hanoï en même temps que moi. Un peu plus tard, j'ai fait engager, sur contrat, M. le Commandant Dussault, de l'Infanterie coloniale, Chef par intérim du Service géographique; cet officier, explorateur indochinois très averti, avait déjà fourni des missions géologiques réussies au Laos et au Cambodge. En 1921, la métropole m'envoya M. le Capitaine Patte, de l'Artillerie coloniale, licencié ès sciences naturelles. Enfin, peu après mon départ et sur mes vives instances, a été signé l'engagement de M. J. Fromaget, ancien élève de MM. Ch. Depéret et W. Kilian, que j'ai retrouvé à Amitchéou comme agent de la Compagnie des chemins de fer du Yunnan. C'est ce petit monde qui a constitué seul le Service géologique de l'Indochine, sous ma direction, puis sous celle de M. le Commandant Dussault, jusqu'à l'arrivée de M. Blondel, en octobre 1925, et c'est avec la plupart de ces solides collaborateurs que j'ai pu travailler.

Dès l'abord, je me suis attaché moi-même à la Province de Thanh Hoa dans le Nord-Annam, sur laquelle on ne savait à peu

près rien. Puis j'ai gagné la Rivière Noire, beaucoup mieux connue, mais nécessitant une révision. J'ai étudié aussi le Sud-Ouest du Tonkin, sans parler des tournées de raccord avec mes collaborateurs. Pendant que je poursuivais ces travaux, je mettais M. Dussault à l'étude de la Province de Sam Neua, au Laos, province limitrophe du Thanh Hoa et totalement inexplorée au point de vue géologique; et progressivement les reconnaissancess de ce géologue s'étendaient jusqu'à Lai Chau, avec des révisions sur les confins tonkinois et laotiens. Durant la même période, M. R. Bourret menait à bien la révision de tout le Nord-Est du Tonkin. L'ensemble de ces travaux nous a occupés de 1919 à 1921. Chacun de nous, bien entendu, a publié indépendamment la part qui lui revenait. Les mémoires de mes deux collaborateurs, MM. Dussault et Bourret, leur ont valu, en 1923, deux prix à l'Académie des Sciences. Je vais indiquer nos conclusions, exposées, y compris le résultat d'un travail de M. Fromaget sur Amitchéou, dans une série de onze notes qui ont été présentées à l'Académie des Sciences de janvier à mars 1921 et dont cinq portent ma signature [49 à 53]. Je les ai développées aussi dans mon travail sur le Nord-Annam et le Tonkin [54]. Ici, j'insisterai naturellement davantage sur ce qui m'est personnel.

Du Thanh Hoa, j'ai dressé une carte au 1/200.000ᵉ. Vers la côte, j'ai trouvé un petit massif cristallin et primaire autochtone, qu'une bande de poudingues triasiques sépare d'une autre série primaire, chevauchant le Trias. Cette seconde série de Primaire m'a fourni une faune ordovicienne à grands Asaphidés, ainsi que du Dévonien, avec un type nord-tonkinois jusqu'alors inconnu dans le Nord-Annam. Sur ces terrains fossilifères viennent des schistes laminés, injectés de roches vertes, au-dessus desquels culminent des masses calcaires considérables, amorce de celles qui vont constituer de vastes plateaux sur 400 kilomètres de longueur, depuis la côte jusqu'en Chine, en passant au Sud-Ouest de la Rivière Noire. Dans ces calcaires et à leur base, je n'ai su trouver que des fossiles triasiques. Mais M. Dussault fut plus heureux sur le plateau de Son La, en rencontrant des Fusulines ouralopermiennes dans les calcaires qui reposent sur des schistes triasiques fossilifères. Nous tenions donc, avec les hauts plateaux calcaires, un complexe charrié, charrié sur des terrains secondaires injectés de roches vertes et aussi de masses énormes de rhyolites. Ceux-ci, ces terrains secondaires, forment une bande parallèle aux plateaux et courent sous leur rebord occidental : nous avons appelé ce vaste affleurement

« Zone de Sam Neua »; il nous a fourni un lot important de fossiles triasiques, étudiés par M. MANSUY comme toutes nos récoltes paléontologiques de ce temps-là.

On voit le schéma auquel on est conduit, avec : 1° des massifs côtiers, autochtones; 2° une série que j'ai qualifiée d'*intermédiaire*, formée de terrains secondaires, mais ramenant à sa base des écailles primaires, série qui est injectée de roches éruptives; 3° des nappes, ou tout au moins des ensembles ramenés sur les précédents et comportant des terrains primaires.

Passant dans la Basse Rivière Noire, le massif primaire, signalé et déjà bien étudié antérieurement à nos travaux, n'est point charrié comme on l'avait dit; il est en position autochtone, comme ceux de la côte du Thanh Hoa et du Tonkin méridional (Nam Dinh). Il est surmonté de schistes triasiques de la série intermédiaire, avec même développement de roches éruptives (Sa Phin et autres). Puis viennent les plateaux calcaires. La coupe est identique à celle du Thanh Hoa.

Pendant que M. DUSSAULT et moi, nous analysions le Sud et l'Ouest du Tonkin ainsi que les régions limitrophes, M. BOURRET arrivait dans le Nord-Est à un dessin analogue au nôtre. L'Est de Cao Bang montre des masses primaires autochtones. Des schistes plus élevés pouvaient représenter la série intermédiaire. Quant aux Nappes, dont il avait été déjà parlé avant nous à l'Ouest de Cao Bang, M. BOURRET en a précisé les détails. Ici, leur matériel est plus profond que dans le Sud-Ouest; en outre des terrains primaires, il comprend de vastes affleurements cristallins.

Je passe sur les détails. En 1921, je pouvais fournir un Schéma structural de la moitié orientale de l'Indochine du Nord au 1 : 1.500.000° [54, Pl. III]. En outre d'interprétations tectoniques qui sont toujours sujettes à révision, surtout dans des pays vastes et parfois très couverts par la végétation comme dans cette partie de l'Extrême-Orient, j'ai cherché aussi à délimiter des unités, des massifs homogènes. Ce sont comme les pièces d'un échiquier qui donnent une figure géologique et géographique à une vaste région de l'Indochine. Libre à des conceptions ultérieures de les assembler différemment, lorsque de nouvelles constatations l'exigeront.

Pour étendre nos vues synthétiques à l'Ouest, j'ai parcouru pendant l'hiver 1921-22, en compagnie de M. DUSSAULT, un long itinéraire, à travers le Haut-Laos jusqu'aux confins de la Birmanie et du Siam [64]. Entre Lao Kay sur le Fleuve Rouge et Lai Chau sur la Rivière Noire, nous avons traversé la région calcaire du Ta Phing.

La coupe confirme celle indiquée plus haut à propos des hauts plateaux du Sud-Ouest du Tonkin. Mais, dès après Lai Chau, on atteint, en repos sur tous les éléments précédents, un entablement considérable de grès rouges, parfois salifères, les grès haut-laotiens, dont l'étendue vers l'Ouest et vers le Sud mène jusqu'en Birmanie et au Siam. L'allure de ces grès est assez tranquille; toutefois, suivant de coulisses convexes vers le Sud-Est et parallèles au cours incurvé du Nam Hou, les grès sont entamés et l'on voit, à la faveur de ces entailles, reparaître un substratum d'allure tonkinoise et compliqué dans sa structure. Nous avons pu, M. Dussault et moi, dater au moins la base des grès, en trouvant au signal qui domine Phong Saly, chef-lieu du V° territoire militaire, la flore de Hongay, c'est-à-dire du rhétien. Comme il était signalé, dans la série intermédiaire du Tonkin, du Lias et même du Callovien, avec des Brachiopodes recueillis en divers points de la Rivière Noire et de Sam Neua, j'ai pensé que le paquet des grès haut-laotiens, au plus du même âge que la série intermédiaire, devait faire partie du complexe tectonique de l'Indochine du Nord, tout en culminant dans l'édifice, et j'ai parlé d'une nappe haut-laotienne ou tout au moins d'un élément tectonique haut-laotien.

Les résultats exposés jusqu'ici, où, bien entendu, entrait également en acquis tout ce que j'ai cru pouvoir conserver des travaux de nos devanciers, fournissent « le point » vers le milieu de 1922. Je les ai traduits sur une carte provisoire au 1/1.000.000° de l'Indochine du Nord [64, Planche hors texte]. J'ai eu l'occasion aussi de les exposer [62, 63], les 14 et 16 août 1922 à Bruxelles, au XIII° Congrès international de géologie, où M. le Gouverneur Général de l'Indochine m'avait envoyé le représenter. A sa séance générale du 16 août 1922, le Congrès a bien voulu voter l'adresse suivante : « Le Congrès après avoir entendu la Conférence de M. Jacob, Directeur du Service géologique de l'Indochine, exposant les résultats très importants déjà obtenus dans l'étude scientifique de cette partie de l'Asie, et se rendant compte de l'appui matériel considérable qu'impliquent de telles recherches, adresse ses hommages et ses remerciements à M. le Gouverneur Général de l'Indochine. » (Comptes rendus du XIII° Congrès géologique international, premier fascicule, p. 140.)

Dans les lignes précédentes il a été question de mouvements tectoniques d'une grande ampleur. Ce sont ceux que j'ai appelé les « charriages majeurs » de l'Indochine du Nord. Il n'y sont point les

seuls. Depuis longtemps il est question dans la Colonie de mouvements antérieurs, d'âge hercynien; ceux-ci ne sont plus discutables depuis que M. FROMAGET, dont les explorations font l'objet d'une thèse déposée à la Faculté des Sciences de Lyon, les a magnifiquement décrits dans le Centre Annam. Il faut aussi concevoir des mouvements tardifs, comparativement très récents, car l'on trouve, transgressifs sur les dislocations majeures, des dépôts levantins miopliocènes, à Paludines et à végétaux, surtout conservés dans des gouttières synclinales, dont la plus connue est celle du Fleuve Rouge.

Mais quel est l'âge des charriages majeurs ? Grave question, qui prend actuellement une face toute nouvelle. On a parlé, pour un temps de mouvements himalayens, terme compréhensif, à peu près synonyme de mouvements alpins, mais qui, s'il est commode, paraît peu adéquat à l'Indochine, où les dépôts tertiaires marins plissés de l'Himalaya sont totalement inconnus. Dans mes dernières publications [67, 68], guidé en partie par la *Tectonique de l'Asie* d'E. ARGAND, j'avais déjà une tendance à remonter à la fin du Secondaire l'âge des dislocations majeures de l'Indochine. Or, tout récemment, sous l'active direction de M. BLONDEL, M. E. PATTE, à qui j'avais assigné l'étude du Sud-Est du Tonkin, objet aujourd'hui d'une thèse déposée en Sorbonne, ainsi que M. FROMAGET, dans son Centre et Nord Annam, croient pouvoir affirmer que ces mouvements sont rhétiens.

Les grès d'Hongay avec leur charbons et leur riche flore, étudiée naguère par ZEILLER, quoique eux-mêmes encore plissés, seraient transgressifs sur les dislocations majeures. Cette transgression de grès sur un substratum plissé avait été suggérée déjà, mais non sans confusions entre le Trias et le Rhétien, notamment par le Commandant ZEIL et par M. BOURRET. Aujourd'hui, elle paraît se préciser, avec une date qui jette la lumière sur bien des faits obscurs jusqu'ici. L'objection vient aussi d'être levée, qui voulait trouver des Brachiopodes, soi-disant calloviens, dans la série intermédiaire. M. FROMAGET rencontre maintenant ces Brachiopodes avec des Ammonites triasiques. Mais alors, les grès haut-laotiens sont peut-être eux-aussi tout simplement transgressifs sur l'édifice majeur indochinois. Sans qu'il soit besoin d'insister davantage, on saisit toute la portée que ces considérations peuvent avoir pour l'histoire de l'Asie orientale. C'est avec joie que je vois le labeur de mes successeurs ouvrir aujourd'hui d'aussi intéressantes perspectives, dans cette Indochine que, cédant à d'autres obligations, je n'ai pas quittée sans regret.

V

Études tectoniques dans les Pyrénées

A regarder une carte géologique des Pyrénées orientales et centrales, dont seules jusqu'ici je me suis occupé, mais qui constituent les trois-quarts de la chaîne franco-espagnole, on voit un long et très large affleurement de terrains cristallins et primaires, qui va de la région du Pic d'Anie, en pays basque, à la Méditerranée. C'est la « Zone axiale », dont l'existence est connue depuis la Carte qui accompagne l'explication géologique de la France de DUFRENOY et d'ELIE DE BEAUMONT. Tant au Nord qu'au Sud, vient une bordure de terrains secondaires. Toutefois au Nord, dans les départements des Pyrénées-Orientales, de l'Aude, de l'Ariège et de la Haute-Garonne, des massifs cristallins et primaires se montrent au milieu des terrains secondaires. Jusqu'à ces temps-ci, on a cherché l'origine de ces « Massifs primaires » sur la Zone axiale et il a été décrit un système de Nappes nord-pyrénéennes. Au Sud, tant dans la bordure secondaire que dans le Synclinal nummulitique de l'Aragon qui lui fait suite et que dans les rides encore plus méridionales, ramenant à l'affleurement des terrains secondaires et collectivement désignées sous le nom de « Zone de Sierras », il n'était indiqué jusqu'au Bassin de l'Ebre que des déversements vers le Sud. Les Pyrénées orientales et centrales fournissaient, semble-t-il, un bon type de chaîne en éventail.

J'ai abordé les Pyrénées par le Sud, avec un départ qui fut, par certains côtés, un faux départ ou tout au moins un départ trop rapide. Au printemps 1914, à la suite d'une course de trois semaines en Catalogne, M. P. FALLOT et moi, nous avons lancé l'idée d'une nappe de recouvrement, dite du Montsech, d'après les belles montagnes de la Zone des Sierras qui dominent le Bassin de l'Ebre [46]. Venu du Sud, cet élément tectonique aurait buté contre la Zone axiale pour y provoquer des contre-poussées. Dès sa naissance, la Nappe du Montsech s'est vue contester l'existence par le grand géologue catalan, L. M. VIDAL, et aussi par M. DALLONI, à qui l'on doit de solides études stratigraphiques sur l'Aragon, puis sur la

Catalogne. Plus tard en 1924, M. Maurice LUGEON et son élève M. N. OULIANOFF devaient nous montrer, dans les environs de Camarasa, des faits que nous avions trop rapidement interprétés en confondant, avec un substratum de nappe, des poudingues postpyrénéens transgressifs dans des vallées. On verra toutefois qu'il reste encore aujourd'hui quelque chose de la Nappe du Montsech [65].

L'étude sérieuse et continue n'a commencé pour nous qu'en 1923. Indépendamment de M. P. FALLOT, j'ai pu y associer, à l'Est du Sègre, M. G. ASTRE, dont la thèse s'achève sur les montagnes catalanes situées au Sud de la Cerdagne et de Sierra de Cadi. Du Sègre à la Cinca, mon élève, M. R. CIRY, m'a accompagné dans toutes mes courses. Enfin tout récemment, en août et septembre 1927, j'ai étudié, avec M. MENGAUD, les abords du Mont-Perdu et nous sommes arrivés, par le Tendeñara, jusqu'à la vallée du Callego. Je ne suivrai pas, dans leurs détails successifs, nos observations collectives, au sujet desquelles les publications ne sont du reste point morcelées : elles ne font jusqu'ici l'objet que d'un seul mémoire présenté au Congrès International de Madrid [70]. En outre de deux notes préliminaires [73 et 74], une addition sera prochainement fournie pour les abords du Mont-Perdu. Nous allons examiner les conclusions de l'Ouest à l'Est.

En Catalogne, au lieu d'une Nappe de Montsech, et pour réserver la reconnaissance encore à entreprendre du phénomène dans la Zone des Sierras, il faut parler maintenant d'une série secondaire et tertiaire, qui est décollée au niveau du Trias et qui a marché vers le Nord. Ainsi se trouve doublée, dès l'abord, la bordure méridionale des Pyrénées, avec d'une part un revêtement sédimentaire normal de la Zone axiale et d'autre part la série décollée. Les deux paquets diffèrent. Le revêtement ne comporte que du Trias, du Crétacé supérieur et du Nummulitique; c'est la « Série de Cadi ». La série décollée est plus complète, avec du Lias, du Jurassique moyen et du Crétacé inférieur en sus des terrains précédents; c'est la « Série de Pedraforca » de M. ASTRE. Le recouvrement est manifeste depuis Pobla de Lillet, où l'on voit la Série de Pedraforca apparaître en hauteur, sur la Série de Cadi et sous les poudingues postpyrénéens discordants. Au Nord, on suit le chevauchement jusqu'au Sègre. Mais, près du Sègre, le Montsech de Tost correspond à un lambeau de Primaire, entraîné par la Série de Pedraforca et reposant, comme l'ont montré MM. P. FALLOT et ASTRE, sur les calcaires nummulitiques écrasés de la Série de Cadi, qui disparaît ainsi en profondeur vers l'Ouest.

Dépassant le Sègre, la série décollée est maintenant seule, puisque

le revêtement normal, chevauché par elle, a disparu en profondeur. Elle a glissé vers le Nord, sur des éléments axiaux les plus divers. L'étude détaillée de ceux-ci est bien curieuse. Leurs terrains montent jusque dans les grès rouges du Permien; mais les lambeaux dont il va être question sont enveloppés de Trias, principalement sous la forme d'argiles bariolées avec gypse et ophite, c'est-à-dire sous le faciès bien connu du *keuper* des Pyrénées.

Parmi les lambeaux, on en reconnaît qui sont toujours poussés vers le Nord, tout comme le Montsech de Tost; ils se trouvent en outre découpés en écailles (écailles de Tréjabell et autres). On les suit jusque dans le Barranco de Sas, affluent oriental de la N. Ribagorzana. Mais d'autres lambeaux reviennent du Nord, par dessus les précédents: c'est, au moins pour partie, ce que M. Dalloni a appelé sa Nappe de Nogueras. Nous connaissons maintenant des témoins de ce retour au Sud jusqu'au delà de l'Esera, jusqu'au Col de Sahun, où ils disparaissent à leur tour en profondeur sous la série secondaire décollée. A un échelon plus profond, les séries axiales montrent d'autres retours au Sud, manifestes si l'on considère la « fenêtre » permienne de Rialp sur la Pallareza et plus visibles encore avec les recouvrements de la Haute Cinqueta et de Bielsa de M. Dalloni.

Nous sommes arrivés à la Cinca et même plus loin dans la bordure de la Zone axiale, jusqu'en vue du Mont-Perdu. Revenons toutefois en arrière et plus au Sud, pour signaler d'abord le magnifique paquet des poudingues postpyrénéens de la Sierra de Boumort et de toute la région comprise entre le Sègre et l'Isabena et surtout pour préciser les singulières complications qui vont expliquer les beaux massifs calcaires du haut Aragon : le Turbon, le Cotiella et le Castillo Mayor.

La structure des massifs calcaires du haut Aragon se démêle avec deux constatations, qui sont du reste complémentaires. Tout d'abord, la série décollée se trouve doublée, par un nouveau chevauchement dirigé vers le Nord, dont l'extension latérale est limitée depuis Gabas à l'Est de l'Esera jusque près de Tella à l'Ouest de la Cinca. On a ainsi, dans ces parages, une structure imbriquée avec deux écailles. Une troisième, plus élevée, tend même à escalader l'écaille méridionale au Nord de Campo sur l'Esera, où l'on voit de singulières brèches tectoniques; mais cette troisième écaille, peu étendue longitudinalement, est sans intérêt pour ce qui va suivre, c'est-à-dire pour la deuxième grande constatation relative aux massifs de l'Aragon. Celle-ci s'énonce en peu de mots : simple ou doublée, comme on vient de le voir, suivant les tronçons longitudinaux envisagés, la série en marche vers le Nord se retrousse vers le Sud et se replie sur le

Synclinal de l'Aragon. Dans le détail, on peut déjà reconnaître un magnifique retour au Sud, simple celui-là, avec le Turbon. Tandis que, dans le Massif de Cotiella, où la série est doublée par l'accident de Gabas-Tella, c'est un double paquet qui revient vers le Sud et l'on obtient ainsi un double front vers le Sud : celui de la Peña del Solana et de la Punta Llerga, et celui de l'Angon et des hauts du Cirque d'Armeña. Depuis Tella, le retour vers le Sud redevient simple et c'est ainsi qu'il faut comprendre le Castillo Mayor, dont M. Dalloni a le premier constaté la curieuse position, avec un lambeau de calcaires montiens en repos anormal sur du Nummulitique.

Si l'on songe qu'il s'agit avec le Turbon, le Cotiella et le Castillo Mayor, etc... de massifs hauts de 2.000 à 3.000 mètres et franchement séparés des Pyrénées par des dépressions longitudinales profondes, on voit combien grandiose est la structure. Dans ce pays merveilleusement découvert, avec pour ces seuls massifs une exploration de deux mois et plus en plusieurs reprises, nous espérons avoir su lire. En tout état de cause, il faut des explications tectoniques quant à la présence et à l'allure des gros massifs en question. Je me rappelle combien l'héroïque bastion de la Peña Montañese, campé au-dessus des molles montagnes nummulitiques de l'Aragon, nous avait déconcertés il y a quelques années, P. Fallot et moi, lors d'une première et rapide incursion à son voisinage.

Dépassant enfin franchement l'Ouest de la Cinca, nous arrivons au Mont-Perdu et au Sestrales. Les constatations seront plus simples que jusqu'ici. On ne peut plus parler de glissement vers le Nord. Le Trias, avec le lubréfiant du keuper, a disparu et les calcaires à Hippurites du Crétacé supérieur, maintenant directement à la base de la série secondaire, se collent sur la Zone axiale. Depuis M. Bresson, on connaît le chevauchement de Gèdre-Gavarnie, poussant vers le Sud le primaire du Piméné sur une lame de ce Crétacé supérieur, reposant elle-même, vers Gavarnie, sur un substratum primaire. Mais plus au Sud que se passe-t-il ? Les hauts du Perdu montrent au-dessus du Maestrichtien une cascade de petits plis dans les terrains calcaires du Nummulitique inférieur, cascade bien connue et dont M. Mengaud a relevé le détail. Mais, si l'on descend dans le Cañon d'Ordesa et si l'on étudie ses abords vers Rio Ara, on voit que les calcaires du Perdu viennent dessiner un nouveau pli vers le Sud. Ce pli est tectoniquement plus élevé que Gèdre-Gavarnie et il va à son tour, tout comme le Turbon, la Peña Montañese, etc., chevaucher le Synclinal de l'Aragon. La charnière anticlinale, frontale vers le Sud, est visible des deux côtés du Rio Ara, dans la région du Pont des Navarrais; les calcaires nummulitiques du syn-

clinal inférieur à l'anticlinal précédent reviennent au Nord sous le Perdu, jusqu'en aval de Boucharo. Quant à la charnière anticlinale, elle se poursuit au Sud-Est jusque dans le Sestrales, après quoi, à l'Ouest de Laspuña, elle plonge et s'ennoie dans des marnes nummulitiques. A l'Ouest du Rio Ara, la même charnière se surélève au contraire; filant en hauteur, elle vient disparaître dans la Punta de Otal au Sud du chaînon de la Tendeñera.

La Tendeñera permet de respirer au milieu de tous ces accidents. Elle correspond enfin à une série simple, normale encore que verticale, qui repose au Nord sur la Zone axiale et forme, pour qui regarde au Sud, la bordure du Synclinal de l'Aragon. Au delà du Gallego, il semble que les plis-couchés recommencent; mais il s'agit là d'une nouvelle région qu'il faudra suivre jusqu'au Pic d'Anie, en pays basque espagnol. Nous n'avons pas encore amorcé cette étude.

Les lignes consacrées au versant méridional des Pyrénées sont-elles claires ? Elles le deviendront surtout lorsqu'elles pourront être lues avec les cartes et les coupes des mémoires consacrés à l'étude d'une tectonique simple dans ses grandes lignes. En somme, sur le versant méridional, nous reconnaissons aujourd'hui, depuis Pobla de Lillet et Pedraforca à l'Est, une série qui est décollée au niveau du Trias et qui a marché vers le Nord. Le décollement cesse à l'Ouest en même temps que cessent les affleurements du Trias, à savoir lorsqu'on atteint la région du Perdu. Sous la série en marche, la tectonique pyrénéenne de la bordure propre de la Zone axiale rappelle le style de cette série en marche, mais elle en est complètement indépendante. On peut, à tous égards, assimiler la série décollée à ce qu'E. Argand appelle une couverture et les plis propres de cette série sont des plis de couverture. Nous avons vu qu'ils sont de deux sortes, avec d'une part des imbrications vers le Nord et d'autre part des retours au Sud, qui nous ont fourni la clef des massifs de l'Aragon. Dans le Perdu, il n'y a plus que des mouvements du Sud.

J'ai dit dans l'Introduction que nos travaux sur le versant méridional nous avaient conduits, mes collaborateurs et moi, à traverser la Zone axiale, et à aborder le versant septentrional des Pyrénées. Pour la Zone axiale, il est une remarque de M. Carez à laquelle je suis revenu, sans de prime abord avoir compris son importance. La voici : la Zone axiale possède un revêtement propre, sans Lias, ni Jurassique moyen, ni Crétacé inférieur, différent à la fois des séries sud et nord-pyrénéennes. Ce revêtement propre,

nous l'avons déjà rencontré dans Cadi à l'Est, ainsi que dans le Perdu à l'Ouest; mais il est connu au Nord jusqu'au Pic de Bazes, près d'Argelès, dans le département des Hautes-Pyrénées, et, d'après une trouvaille de M. MENGEL, sa présence est probable à l'orient jusque dans la région de Prades, au Nord du Canigou. Donc, presque toute la Zone axiale en a été recouverte et il ne resterait qu'une faible marge, d'Argelès au Nord du Canigou, pour fournir les racines des éléments nord-pyrénéens, en particulier celles des Massifs primaires de l'Ariège et de la Haute-Garonne avec leur revêtement qui comporte du Lias, du Jurasique moyen et du Crétacé inférieur, inconnus sur la Zone axiale proprement dite.

Or la structure du versant Nord prend actuellement une physionomie nouvelle. Venant peu après une remarque de M. H. DOUVILLÉ, voici que nos publications ont commencé à enraciner au Nord de la Zone axiale un des gros massifs de la Haute-Garonne, celui de la Barousse [71, 72]. Tout confirme aujourd'hui cette hypothèse. Par voie de conséquence, il en est de même de toute la ligne de massifs qui va de la Barousse sur la Neste d'Aure jusqu'à l'Ariège et aboutit aux Trois Seigneurs, près de cette dernière rivière. Devançant la publication de nos résultats, je puis ajouter, après nos courses de l'été dernier et les levers géologiques très précis de M. CASTERAS dans la région de Tarascon-d'Ariège, que le Massif de l'Arize et le Saint Barthélemy, situés plus au Nord que les précédents, ne viennent pas non plus de la Zone axiale et ont conservé dans tout l'édifice leur position relative initiale. Les abords de Saurat sont en particulier décisifs à ce sujet. Cela M. CAREZ l'avait déjà vu, mais son observation n'a point prévalu.

Dès lors, comment envisager le versant Nord des Pyrénées centrales et orientales ? Des massifs cristallins et primaires émergent suivant deux lignes anticlinales principales, Barousse-Trois Seigneurs, Arize-Saint Barthélemy, et ils correspondent à deux saillies profondes, analogues à la Zone axiale, mais de proportions plus réduites. Le Mouthoumet, situé plus au Nord, déjà dans le pays sous-pyrénéen, tandis qu'on parle de région nord-pyrénéenne pour le territoire des rides précédentes, ne doit pas être quelque chose de bien différent de celles-ci. Sur l'ensemble est jeté un revêtement sédimentaire avec les deux séries qui sont dites nord et sous-pyrénéenne, mais dont la délimitation latérale est sans doute beaucoup moins tranchée qu'on ne l'a cru. Une grande onde tectonique, un choc plutôt, est venu du Sud. Nous en avons eu besoin déjà pour

expliquer le décollement de la couverture sur le versant Sud. Cette onde, ce choc, a poussé la Zone axiale contre les anticlinaux nord-pyrénéens et ceux-ci contre les régions plus frontales. Le manteau sédimentaire s'est prêté, s'est conformé, comme il a pu, à ce mouvement relatif des masses profondes hercyniennes. Il est prématuré de parler de la mise en place des roches pyrénéennes, ophites, lherzolites et autres; mais il n'est pas bien difficile d'imaginer des montées qui se rangeraient dans le dispositif précédent. Quoi qu'il en soit, et pour nous borner à la seule tectonique, on voit avec quel fil conducteur, déjà solidement accroché à des observations précises, nous pensons pouvoir continuer à étudier les Pyrénées.

« Les Pyrénées, qui s'alignent avec la demi-raideur d'un petit Tien-Chan, ou presque d'un Caucase, sont pour l'essentiel un paquet de plis-de-fond à matériel hercynien... En s'accentuant, les plis de fond ont cassé par nappes semi-rigides qui ont bousculé et plissé les dépôts du sillon (nord-pyrénéen), les ont recouverts en partie et ont déterminé, plus à l'avant quelques plissements de couverture », a écrit E. Argand en 1924. Les plis de fond ont beaucoup moins « cassé par nappes semi-rigides » vers le Nord qu'on ne le croyait. Il n'en reste pas moins que l'on connaît aujourd'hui plusieurs rides qui sont des plis de fond et l'on aperçoit quel champ d'observations merveilleux les Pyrénées sont susceptibles de réserver à l'étude objective de la tectonique de fond aussi bien qu'à celle de couverture.

Quant à l'histoire de la chaîne, c'est la considération des terrains sédimentaires posthercyniens, avec leurs lacunes, leurs transgressions, leurs changements de faciès, qui finira bien par en préciser les étapes, tout comme dans les Alpes dont le style tectonique est cependant tout différent. Pour la date du paroxysme, on est déjà à peu près fixé : il se place au milieu de l'Eocène [72]. Sur le versant Sud, les lignites de Sosis à la base des poudingues transgressifs renferment des mollusques bartoniens. Pour le versant Nord, J. Boussac a indiqué déjà la transgressivité des couches de Biarritz sur le Béarn plissé; la base de ces couches est d'âge lutétien supérieur. Il est intéressant d'ajouter que ce niveau ne correspond déjà plus à des couches marines, dès qu'on gagne l'Est de la bordure septentrionale des Pyrénées.

VI

Géologie appliquée

La loi française impose avec raison aux communes qui établissent des projets d'adduction d'eau ou de cimetières, de les faire visiter par un collaborateur du Service de la Carte géologique de France. Ces petites expertises sont rarement intéressantes au point de vue scientifique, mais elles font les frais de sorties et permettent parfois des études latérales. J'ai donc sollicité et obtenu de M. P. Termier, depuis 1923, pour mes collaborateurs et pour moi, le contrôle des huit départements de l'Académie de Toulouse. Une visite de source a amené, en janvier 1927, M. Astre à recueillir, près de Siradan, dans la Haute-Garonne, les premières observations qui ont déclenché notre mise à l'étude du versant septentrional des Pyrénées.

Les expertises industrielles sont aussi parfois l'occasion de constatations scientifiques intéressantes. A coup sûr, elles ne sont point inutiles pour compléter une formation géologique.

W. Kilian m'a mêlé à quelques-unes des siennes. La plus longue a comporté, en 1907, en collaboration avec M. S. Franchi, l'étude d'un projet de grand tunnel sous le Mont-Blanc [27]. La coupe géologique de surface est simple; mais l'établissement des probabilités géothermiques du massif nous a conduits à rechercher une documentation de comparaison dans la bibliographie des grands tunnels alpins alors construits. Un peu plus tard, en 1909, j'étais chargé, en collaboration avec M. J. Révil, de l'étude d'un grand tunnel sous le Petit Saint-Bernard [35].

En 1910, pendant mon séjour à Bordeaux, l'étude dans le désert d'Atacama, au Chili, d'un vaste gîte de cuivre natif du style de Corocoro m'a fourni l'occasion d'un voyage en Amérique du Sud. J'ai traversé l'Argentine et les Andes et parcouru le Chili depuis la célèbre région des nitrates jusqu'à l'île de Chiloe. Dans la partie méridionale de mon trajet, j'ai eu la bonne fortune d'être accompagné par le regretté sismologue, le Comte de Montessus de Ballore, qui représentait alors si dignement la science française à

l'Université de Santiago. Ce voyage, trop rapide pour comporter des publications, m'a du moins habitué aux lointains horizons et il n'est pas étranger à ma décision, lorsqu'il s'est agi d'aller en Indochine par le long trajet que j'ai indiqué.

Bien que je fasse, depuis une date toute récente il est vrai, partie du Comité géologique de l'Office National des Combustibles liquides, je n'ai pas eu à m'occuper de recherches de pétroles, sauf en Indochine. L'un des objectifs de mon voyage en 1921-22 avec M. Dussault dans le Haut-Laos était d'y rechercher des indices d'hydrocarbures en relation possible avec la vaste distribution des grès rouges salifères. Nous n'avons rien obtenu de probant à ce sujet et, d'après tout ce que l'on sait jusqu'ici, il nous a fallu conclure que des sondages seraient prématurés dans cette partie de notre domaine colonial, au moins tant que des reconnaissances préalables n'auraient pas rejoint le bassin productif (?) du Setchouen avec les grès rouges haut-laotiens. Par contre, nous avons recueilli des renseignements curieux sur l'industrie indigène du sel dans le Nord-Ouest de l'Indochine [64, Deuxième Partie, Chapitre VI].

Enfin, une véritable émulation agite actuellement le Sud-Ouest de la France quant aux aménagements hydroélectriques. Le 150.000 volts de la Compagnie du Midi et d'autres grands transports de force incitent les industriels et les groupes financiers à rechercher toutes les utilisations possibles de nos lacs pyrénéens et de nos cours d'eau. Le centre géologique de Toulouse, qui s'est longtemps dérobé, a fini par accepter d'examiner certains de ces projets : une dizaine, dont quelques-uns très importants, nous ont été soumis depuis le 1er janvier 1927. Parmi les constatations scientifiques intéressantes, je retiens la suivante : le décapage d'un barrage et des chantiers annexes sur le Tarn nous a montré, à M. Duffour et à moi, toute une zone de granites et de schistes cristallins écrasés — un front ou une base de nappe hercynienne — et permis de recueillir un matériel pétrographique actuellement à l'étude.

VII

Enseignement. Organisation du travail scientifique

Dans l'Introduction, j'ai parlé d'enseignement de licence. J'aurai pu citer aussi le S. P. C. N., qui comporte seize conférences d'initiation à la Géologie. Pendant quelques années, j'ai tenu à les assurer moi-même et les étudiants ont fait dactylographier des notes, qu'ils se communiquent encore maintenant. Cet enseignement du S. P. C. N. offre le gros intérêt de conduire vers les sciences naturelles quelques bons sujets, venus directement à la Faculté, sans passer par les mathématiques spéciales. Il est digne de retenir l'attention puisque, sur la demande des naturalistes du Comité Consultatif de l'Enseignement Supérieur dont je suis, il va ouvrir, avec un concours spécial, l'accès d'un Groupe III pour l'Ecole Normale et les Bourses de Licence. Celles-ci sont en fait supprimées en Sciences naturelles depuis la réforme de 1904.

Pour l'Agrégation, Toulouse est depuis longtemps une pépinière intéressante de candidats. Avec mes collègues, nous continuons à nous en occuper, car, s'il est parfaitement inutile d'avoir en province de nombreux centres de préparation, nous estimons, dans le cas particulier, que nous ne pouvons nous désintéresser du recrutement de l'Enseignement secondaire. La liste de nos agrégés est déjà longue. Je rappelle que, pour sept sessions échelonnées de 1912 à 1926, successivement les deux présidents, le regretté A. Dastre et M. L. Mangin, m'ont fait l'honneur de m'appeler au Jury.

Il a été question aussi d'enseignement supérieur tout court, avec le souci d'y tenir compte des grands courants qui traversent la géologie contemporaine. Dans chaque science, certaines parties ont atteint, au moins pour un temps, une forme en quelque sorte canonique; c'est le cas de la Stratigraphie et de la Paléontologie. J'ai soigné particulièrement l'enseignement de ces deux branches maîtresses de la Géologie, et certains de mes cours sont autographiés. Mais que dire actuellement de la Tectonique et de la Pétrographie ?

On sait quels progrès immenses l'étude des dislocations de l'écorce terrestre a fait au cours du siècle dernier et dans les premières années de celui-ci. Tout le monde a entendu parler de la

théorie des grandes nappes dans les régions géosynclinales. Mais voici qu'en 1922, au Congrès géologique de Bruxelles, E. Argand a exposé des vues en partie nouvelles sur la déformation tangentielle du bâti des continents. Je crois avoir été l'un des premiers, au moins en France, à souligner la portée probable des interprétations d'E Argand [66]. Peut-être étais-je préparé à la saisir par mes voyages et par la traduction de trois chapitres, relatifs aux plissements alpins, dans l'édition française de la *Face de la Terre*, l'ouvrage fondamental d'Edouard Suess [36].

En Pétrographie, à côté des méthodes micrographiques d'étude pour les roches éruptives, telles que les ont établies les écoles européennes, on tend aujourd'hui de plus en plus, notamment en France sous l'impulsion de M. A. Lacroix, à accorder une place importante aux conceptions chimiques de l'Ecole américaine. L'hiver dernier a été entièrement consacré à Toulouse à un cours inspiré de cette préoccupation.

En outre de l'Enseignement didactique, la tâche peut-être la plus délicate, à coup sûr la plus nécessaire, pour un professeur de géologie comporte la formation des étudiants à l'exploration du terrain. Nous sommes quelques-uns en France qui avons été frappés de la précision, de la minutie même, avec laquelle l'Ecole suisse, par exemple M. Lugeon à Lausanne, s'efforce d'éduquer ses élèves, j'entends ceux qui sont véritablement destinés à devenir géologues de plein air; pour les licenciés ordinaires, la précaution dépasserait le but. Chez nous, le Diplôme d'études supérieures peut permettre cette formation initiale sur un terrain proche et surveillé. A Toulouse, MM. Bourret, Daguin, Casteras et d'autres ont ainsi débuté. Il est un second système que j'ai délibérément employé : celui d'associer les jeunes gens à nos recherches. Le bénéfice n'a pas été simplement pour eux, car souvent leur concours nous a profité. On a trouvé sur ma liste bibliographique les noms de M. Astre et de M. Ciry; d'autres auraient pu être cités. Au reste, pour l'exploration des grandes surfaces, je suis un partisan résolu du groupement coordonné des géologues, dont l'indépendance peut parfaitement être réservée. Je n'ai pas à revenir sur ce qui a été dit de l'Indochine et des Pyrénées.

Jusqu'ici, il n'a pas été soutenu de thèse de géologie à Toulouse. Ainsi que de Grenoble mon maître, W. Kilian, m'a envoyé porter une thèse en Sorbonne, l'usage s'est maintenu, dans les centres que j'ai dirigés, d'aller chercher ailleurs la consécration des travaux. Cependant, il m'est peut-être permis d'indiquer ici que j'ai une part d'initiative ou simplement de conseil dans les thèses de

MM. Bourret, Patte, Fromaget, Daguin et dans celle en cours de M. Astre, sans parler de quelques jeunes qui apparaissent à l'horizon.

Il ne me reste plus à considérer que les organisations matérielles et les collections.

J'étais à Grenoble, au moment du transfert du Laboratoire de géologie dans l'ancien évêché ; de plus, W. Kilian m'a confié le déménagement et l'installation de la splendide Collection Gevrey, lorsque l'aimable magistrat qui avait consacré une partie de sa vie à la recueillir sur les gisements du Sud-Est en a fait don et a tenu, de son vivant encore, à ce qu'elle vînt au Laboratoire de géologie.

En Indochine, j'ai trouvé des collections et une installation bien au point, avec un judicieux emploi de la main-d'œuvre indigène. Bien des fois, depuis, j'ai regretté l'absence d'une aide matérielle aussi intéressante dans nos laboratoires métropolitains.

A Toulouse, mes premiers soins ont été d'installer un atelier de sciage des roches et de polissage; il fonctionne depuis 1913 au profit des laboratoires, tant de Toulouse que d'ailleurs. En rentrant d'Indochine, j'ai trouvé mon service agrandi de locaux rendus disponibles par la construction d'un Institut de Chimie. Ces locaux étaient nus. Il a fallu les aménager, les garnir de meubles, grâce aux fonds Pasteur, puis à la taxe d'apprentissage. Aujourd'hui, ils vont présenter une collection locale, dont mon prédécesseur, V. Paquier, avait commencé à faire recueillir les éléments dans les terrains du Bassin de l'Aquitaine. Nous nous attachons surtout au Crétacé supérieur et à l'Eocène local. Avec les Petites Pyrénées, nous avons déjà l'un des plus beaux maestrichtiens connus. Si l'on y joint une installation photographique modeste, mais suffisante, et qui va être complétée par un banc microphotographique acheté avec les fonds Loutreuil, le laboratoire de Toulouse est maintenant outillé pour le travail courant. C'est peut-être ce qui lui a valu d'être récemment rattaché à l'Ecole pratique des Hautes-Etudes.

J'ajoute enfin que la Ville de Toulouse m'a confié, depuis 1926, la conservation des collections géologiques, minéralogiques et paléontologiques de son Musée. Il y a là des richesses avec les matériaux de J.-B. Noulet et de bien d'autres, notamment en restes de vertébrés et en fossiles d'eau douce du Bassin de l'Aquitaine. Nous nous efforçons actuellement de les mettre en ordre, de les déterminer et de les présenter. A cette besogne encore j'associe des étudiants.

TABLE DES MATIERES

ANALYSE SOMMAIRE DES TRAVAUX

Imp. J. BONNET, rue Romiguières, 2, TOULOUSE